

Щелконогов Андрей Евгеньевич

магистрант

Дворниченко Александр Алексеевич

канд. техн. наук, доцент

Загребина Елизавета Сергеевна

студентка

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный

университет» (НИУ)

г. Челябинск, Челябинская область

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МОДЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

***Аннотация:** в статье рассмотрены существующие проблемы литейного производства на российском рынке. На основе анализа наиболее распространённых аддитивных технологий печати выявлена и обоснована необходимость производства модельной оснастки на основе экономичных и совершенных методов с применением 3D-печати из АБС-пластика, позволяющих сократить себестоимость продукции.*

***Ключевые слова:** модельная оснастка, аддитивные технологии, инструментальное производство, оптимизация производства.*

Аддитивные технологии (AF – Additive Manufacturing) – это технологии послойного изготовления объекта, когда каждый последующий слой вещества добавляется к предыдущему, образуя задуманную форму. Такие технологии составляют основу «цифрового» производства, бурно развивающегося в последнее время [1; 2].

Время, затраченное на производство продукта, является одним из главных факторов конкурентного преимущества [10, с. 110]. Поговорка «Кто не успел – тот опоздал» отражает суть провала коммерциализации товаров даже с хорошо продуманными характеристиками, но опоздавшими на рынок [11]. AF-

технологии, при определенных условиях, могут дать существенное преимущество по скорости вывода на рынок продукции компании, нацеленной на инновации в области производства товаров и услуг [2].

Главным элементом комплекта оборудования в таких технологиях является 3D-принтер. Сегодня в мире насчитывается порядка сотни компаний, занимающиеся серийным производством 3D-принтеров, каждая из которых привнесла свои новшества и усовершенствования технологии 3D-печати, а некоторые изобрели собственные методы и конструкции 3D-принтеров. За короткий десятилетний промежуток времени, аддитивные технологии стали доступны не только передовым промышленным компаниям, но и простым людям. Так на торговых интернет площадках можно приобрести самый простой 3D-принтер за 6–7 тысяч рублей.

Несмотря на доступность 3D-принтеров, аддитивные технологии, использующие прямое изготовление конечного продукта с большим трудом внедряются в серийное и массовое производство [13, с. 87]. Лишь немногие компании используют их в качестве базового инструмента, с помощью которого изготавливают конечный продукт. Самым ярким примером является компания Ford, которая в 2016 году начала изготавливать пластиковые элементы салона автомобилей, применяя аддитивные технологии, и то, как выяснилось позже, это был больше маркетинговый ход, чем процесс оптимизации производства. Такое положение связано с нынешним уровнем развития самой технологии: нет достаточного количества и номенклатуры широко доступных материалов, позволяющих получить изделие с заданными характеристиками по плотности, прочности, термостойкости и пр. параметрам [6]. Либо, пока это дорого. Большинство компаний, имеющие в собственном распоряжении аддитивные технологии, предпочитают использовать их для изготовления прототипов изделий и макетов будущей продукции. Однако находятся и такие области промышленности, которые позволяют частично или полностью внедрить в российскую практику аддитивные технологии, при приемлемой рентабельности продукта производства

[14, с. 154]. Одним из ярких примеров является изготовление модельной оснастки для литейного производства.

Наиболее распространенные аддитивные технологии печати оснастки [4]:

- SLS-технология. Модельный материал – полистирольный порошок. Технология основана на последовательном спекании слоев порошкового материала с помощью лазеров высокой мощности. Применяется для литья по выжигаемым моделям;

- SLA-технология. Модельный материал – жидкие фотополимерные смолы. Отвердевание смолы происходит за счет облучения ультрафиолетовым лазером или другим схожим источником энергии. Применяется для литья по выжигаемым моделям;

- технология MJM. Модельный материал – смесь фотополимерной смолы и модельного воска (более 50% по массе). В основе технологии – печатающая головка с целой батареей мельчайших сопел, расположенных линейно в несколько рядов. Применяется для литья по выплавляемым моделям.

Модели (модельная оснастка), напечатанные на 3D-принтере, в большинстве своем одноразовые и разрушаются после одного цикла использования. Технологии изготовления таких моделей подходят для единичного и мелкосерийного производства. Если же литье серийное или крупносерийное, то использовать аддитивные технологии с разрушающимися моделями нецелесообразно. Существуют и такие методы литья, где модельная оснастка не разрушается и используется многократно. Например, литье в холодно-твердеющие смеси (ХТС).

Литье в ХТС очень похоже на традиционное литье в песчано-глиняные формы, только в нем для связующего вещества в песке применяются искусственные смолы. При этой технологии используется модельная оснастка – готовая деталь с учетом припусков на будущую механическую обработку и литье.

Модельная оснастка, применяемая при ХТС в настоящее время изготавливается на пятикоординатных станках с ЧПУ из следующих материалов: дерево (сосновый брус $\rho = 620\text{--}660 \text{ кг/м}^3$), фанера ($\rho = 660 \text{ кг/м}^3$) и модельный пластик

($\rho = 700\text{--}1100 \text{ кг/м}^3$). Применение этих материалов обусловлено требованиями к их физико-механическими свойствами, главными из которых являются:

- механическая надежность;
- термостойкость;
- химическая инертность;
- равномерная передача тепла;
- сохранение размерной точности;
- длительное использование (износостойкость);
- невысокая трудоемкость в обработке;
- плотность.

Стоимость модельной оснастки закладывается в стоимость самого литья. То есть, чем ниже затраты на изготовление модельной оснастки, тем ниже стоимость литья. Стоимость модельной оснастки складывается из затрат на материал и ее изготовление. При изготовлении оснастки сложных корпусных деталей коэффициент использования материалов очень низкий и варьируется от 0,4 до 0,6, соответственно, большая часть материала уходит в стружку. Соотношение объема модели и материала, уходящего в стружку в заготовке, показано на рис. 1 и 2. Если сократить расходы на материалы, то можно существенно снизить себестоимость оснастки [12, с. 100].

Как альтернативу изготовления модельной оснастки на станках с ЧПУ предлагается использовать аддитивную технологию печати на 3D-принтере [5, с. 211]. Обоснованием этого является то, что для производства оснастки может использоваться пластик, который соответствует выше описанным техническим характеристикам и при его обработке коэффициент расхода материала 0,9–0,95.



Рис. 1. Изготавливаемая модель

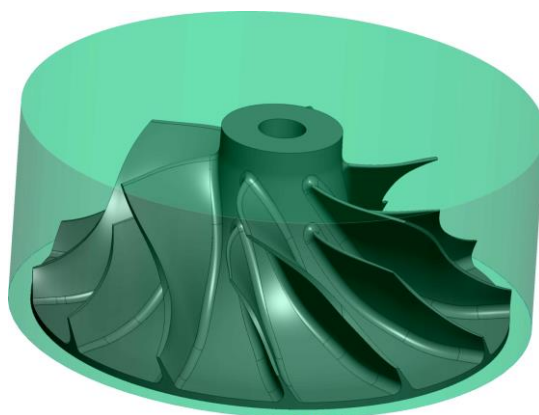


Рис. 2. Заготовка для модели

Из используемых 3D-принтерами материалов наиболее подходящим по физико-механическим свойствам (таблица 1), цене и легкодоступности является АБС-пластик. Также АБС-пластик твердый и вязкий при температуре до 40 °С, обладает высокой стойкостью к ударным нагрузкам и химически инертен (стойек к щелочам, смазочным маслам, растворам неорганических солей и кислот, углеводородам, жирам, бензину). Его физико-механические свойства имеют близкие значения к значениям материалов, применяемых для изготовления модельной оснастки (дерево, фанера, модельный пластик) [9]. Эти свойства позволяют применять его для изготовления многоразовой модельной оснастки при литье в ХТС.

Таблица 1

Физико-механические свойства АБС-пластика

| Свойство | Значение |
|-----------------------------|------------------------|
| Плотность | 1040 кг/м ³ |
| Разрушающее напряжение при: | |

| | |
|--|---------------------------|
| – растяжении | 30–60 МГПа |
| – изгибе | 50–87 МГПа |
| – сжатию | 46–80 МГПа |
| Ударная вязкость | 80–100 кДж/м ² |
| Теплостойкость | До 90–100 °С |
| Максимальная температура длительной эксплуатации | 75–80 °С |

Сравнение стоимостей АБС-пластика и применяемых в настоящий момент материалов для изготовления моделей приведено в таблице 2.

Таблица 2

Стоимости материалов для модельной оснастки

| Материал | Цена в руб. за 1 кг |
|-------------------|---------------------|
| Дерево (сосна) | 17 |
| Фанера | 30 |
| Модельный пластик | 1800 |
| АБС-пластик | 1500 |

Так как современное производство уходит от использования дерева и фанеры из-за малого количества циклов использования оснастки, сделанной из них: 50–70 циклов, то целесообразно сравнивать АБС-пластик и модельный пластик: до 500 циклов использования [3, с. 120]. Сведем их технико-экономические характеристики в таблицу 3.

Таблица 3

Сравнение АБС и модельного пластика

| Показатель | Модельный пластик | АБС-пластик |
|-------------------------------------|-------------------|-------------|
| Плотность, кг/м ³ | 700–1100 | 1040 |
| Коэффициент использования материала | 0,4–0,6 | 0,9–0,95 |
| Стоимость, руб./кг | 1800 | 1500 |

При равных условиях использования АБС-пластик имеет существенное преимущество перед модельным пластиком, используемым в настоящее время, поэтому его применение в качестве альтернативы для изготовления модельной оснастки является обоснованным.

АБС-пластик выпускается в катушках в виде нити, поэтому необходимо выбирать 3D-принтер, использующий технологию FDM (послойное наложение расплавленной полимерной нити).

Габаритные параметры рабочей зоны 3D-принтера выбираются, исходя из параметров рабочего стола станка с ЧПУ. Например, для оборудования Sahos Dynamic [7] они составляют: X: 3000 мм; Y: 1500 мм; Z: 700 мм.

Обзор производителей 3D-принтеров, работающих по технологии FDM, из предлагаемого ассортимента, позволяет выбирать наиболее подходящий, например 3D-принтер компании Stratasys, модель Fortus 900 mc, в таблице 4 приведены его технические характеристики.

Таблица 4

Технические характеристики Fortus 900 mc [8]

| Характеристика | Значение |
|----------------------------|-----------------|
| Размеры рабочей камеры, мм | 914 x 610 x 914 |
| Толщина слоя, мкм | от 178 |

При этом скорость получения модели таким способом, ориентировочно, в несколько раз превышает существующий [10, с. 110]. Стоимость, с учетом существенно увеличенной стойкости модели, также будет ниже. Количественная оценка указанных параметров будет подтверждена в ходе последующих исследований.

Таким образом, производство модельной оснастки для литья методом ХТС на сегодняшний день уже не является оптимальным, т. к. появились более экономичные и совершенные методы, позволяющие сократить себестоимость литья. Одним из примеров таких методов является изготовление пластиковой формовочной модели, в основу которой заложена 3D-печать из АБС-пластика.

Примечание: статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление №211 от 16.03.2013 г.), соглашение №02.A03.21.0011.

Список литературы

1. Аддитивное производство и инструментальная промышленность/ Агентство инноваций и развития экономических и социальных проектов [Элек-

тронный ресурс]. – Режим доступа: www.innoros.ru/publications/analytics/15/additivnoe-proizvodstvo-i-instrumentalnaya-promyshlennost

2. Аддитивные технологии и аддитивное производство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://3d.globatek.ru/world3d/additive_tech

3. Зайцева Т.А. Политика энергосбережения в инновационном развитии предприятия [Текст] / Т.А. Зайцева // Научное сообщество студентов: Материалы XII Междунар. студенч. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 1 окт. 2016 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – С. 120–123.

4. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.А. Зленко, М.В. Нагайцева, В.М. Довбыш. – М.: Изд-во ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

5. Использование инструментов ТЭР при разрешении конфликтов между способами достижения целей производств [Текст] / А.А. Дворниченко, Н.К. Топузов, А.Е. Щелконогов // Современные тенденции развития инновационной экономики: Сборник статей участников Международной заочной научно-практической конференции (24–25 октября 2013 г.). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – С. 211–216 с.

6. Инновационная подготовка производства [Текст]: Учебное пособие / Н.К. Топузов, А.А. Дворниченко, Е.С. Сорокина, А.Е. Щелконогов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 228 с.

7. Официальный сайт компании Sahos [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sahos.cz/ru/

8. Официальный сайт компании Stratasys [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.stratasys.com/ru

9. Свойства и области применения АБС-пластиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://polymery.ru/letter.php?n_id=5138&cat_id=3

10. Топузов Н. К. Оценка резервов и направлений экономии производственного времени в процессах ресурсосбережения предприятия [Текст] / Н.К. Топузов, А.Е. Щелконогов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и Ме-

неджмент. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – Т. 7. – №3. – С. 110–115.

11. Топузов Н. К. Управление инновационными проектами [Текст]: Учебное пособие / Н. К. Топузов, А.Е. Щелконогов, Е.С. Сорокина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 250 с.

12. Топузов Н. К. Управление снижением потерь производственных ресурсов в программах антикризисного развития предприятий: инновационные подходы [Текст] / Н.К. Топузов, А.Е. Щелконогов // Человек > Общество < Государство. Научный журнал. – Челябинск: ОАНово «Челябинский Многопрофильный Институт», 2015. – №1 (1). – С. 100–103.

13. Щелконогов А.Е. Оценка эффективности проекта создания высокотехнологического производства промышленного предприятия [Текст] / А.Е. Щелконогов // Экономика и управление : вызовы инновационного развития: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Челябинск, 25 ноября. 2016 г.) / Челяб. Многопроф. Ин-т. – Челябинск: УралГУФК, 2016. – С. 87–93.

14. Щелконогов А.Е. Перспективы развития инструментального производства на инновационной основе для повышения конкурентоспособности машиностроительного предприятия [Текст] / А.Е. Щелконогов, И.С. Амелин, Т.А. Зайцева, В.Ф. Гайсина, А.А. Дворниченко // Научные исследования и разработки студентов: Материалы III Междунар. студенч. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 31 март 2017 г.) / Редкол.: О.Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. – С. 154–161.